

# Känslighetsanalys av prognos- och ledtidskvalitetens påverkan på servicenivå och säkerhetslager

Stig-Arne Mattsson

## Sammanfattning

*Avgörande för när inleverans bör ske till ett lager är förväntad efterfrågan under ledtid och dess variationer. Lagerstyrningsparametrarna prognos per period, ledtid och standardavvikelse för efterfrågevariationer kan därför förväntas ha ett avgörande inflytande på vilken servicenivå och säkerhetslager man får. Syftet med den studie som avrapporteras här har varit att analysera vilka effekterna blir på erhållna servicenivåer och storlek på säkerhetslager när använda parametervärden i olika grad avviker från sina verkliga värden. De resultat som erhållits med hjälp av simulering kan sammanfattas enligt följande.*

*Erhållna servicenivåer avviker avsevärt från önskade för efterfrågefall karakteriserade av hög och jämn efterfrågan när prognostiserad efterfrågan är lägre än verklig och när planerad ledtid är kortare än verklig. Avvikelserna minskar något med ökande orderkvantiteter och högre önskade servicenivåer. Ju lägre efterfrågan är och ju mer den varierar slumpmässigt desto mindre avvikelser erhålls. I stort sett är de försumbara vid mycket låg och starkt varierande efterfrågan. För säkerhetslager är förhållandena de omvända, dvs säkerhetslagren ökar vid ökande skillnad mellan prognos och verklig efterfrågan och mellan planerad ledtid och verklig. Skillnaden mellan erhållet säkerhetslager och säkerhetslager utan prognosavvikelser respektive ledtidsavvikelser blir större ju högre och jämnare efterfrågan är. Den är endast försumbar för efterfrågestrukturer med mycket låg och ojämn efterfrågan.*

*Vid negativa avvikelser i beräknade standardavvikelser reduceras erhållna servicenivåer endast måttligt för efterfrågestrukturer karakteriserade av hög och jämn efterfrågan men betydligt mer ju lägre och ojämnare efterfrågan är. Förhållandet för säkerhetslager är det motsatta när beräknade standardavvikelser är större än de verkliga. Om standardavvikelser beräknas approximativt med hjälp MAD i stället för på ett helt korrekt sätt påverkas inte erhållna servicenivåer nämnvärt vid hög och jämn efterfrågan medan de blir påtagligt lägre än önskade nivåer ju lägre efterfrågan är och ju mer den varierar.*

*Den övergripande slutsats man kan dra av de erhållna resultaten är ganska uppenbar. För att kunna få en servicenivå i närheten av den man önskar och för att man inte skall få onödigt stora säkerhetslager måste man säkerställa att prognoser och ledtider blir rimligt korrekt fastställda. Eftersom förhållandet gäller i större utsträckning ju högre och jämnare efterfrågan är bör insatser för att uppnå hög prognoskvalitet och rättvisande ledtider i första hand sättas in för volymvärdehöga artiklar.*

# 1 Introduktion och syfte

Det som avgör när inleverans för att fylla på ett lager bör ske är förväntad efterfrågan under ledtid. Denna efterfrågan bestäms av de båda lagerstyrningsparametrarna efterfrågan per period och ledtidens längd. Detta gäller oavsett om man använder ett beställningspunktssystem, täktidsplanering eller materialbehovsplanering för lagerstyrning. Förväntad efterfrågan per period bestäms i allmänhet genom någon form av prognostisering med mer eller mindre inslag av uppskattningar medan ledtidens längd oftast baseras på en dialog med leverantör i kombination med en manuell uppskattning. I båda fallen är uppskattningarna förknippade med osäkerhet vilket medför att man vid lagerstyrning också måste ta hänsyn förekommande variationer. Detta sker genom att beräkna och vid lagerstyrningen inkludera säkerhetslager baserade på standardavvikelser för prognosfel eller efterfrågevariationer och för ledtidsvariationer.

Att kunna uppskatta alternativt beräkna dessa parametrar med tillfredsställande noggrannhet kan förväntas vara av stor betydelse eftersom för höga parametervärden medför onödigt stora säkerhetslager och för låga värden medför att målsatta servicenivåer inte kan uppnås. Det är emellertid inte något som är enkelt att åstadkomma och det kan också vara förknippat med en hel del resursinsatser. För att kunna använda tillgängliga resurser på ett så effektivt sätt som möjligt är det därför av intresse att ha en uppfattning om hur känsliga bestämningarna av de olika parametrarna är så att resursinsatserna kan avvägas på ett rimligt sätt. Av samma skäl är det av intresse att ha en uppfattning om det finns några skillnader i betydelse av hög datakvalitet med avseende på artiklar och produkters efterfrågekaraktär och leveransegenskaper så att man på bästa sätt kan kanalisera resursinsatserna till de produkter/artiklar respektive till de leveransförhållanden där hög parameterkvalitet är av störst betydelse.

Endast enstaka studier som belyser frågeställningar om prognoskvalitetens och ledtidskvalitetens betydelse för lagerstyrningens effektivitet har kunnat hittas i litteraturen. Aggarwal och Dhavale (1973) har med hjälp av avancerade analytiska beräkningar studerat hur känsliga de totala lagerstyrningskostnaderna är i ett beställningspunktssystem med avseende på olika lagerhållningskostnader, ordersärkostnader och bristkostnader samt med avseende på olika hög efterfrågan. Vissa ytterst förenklande antaganden har emellertid fått göras för att kunna genomföra beräkningarna, exempelvis att ledtiden för lagerpåfyllnad satts till noll. Dessa förenklingar begränsar starkt värdet av de resultat som erhållits och resultaten är inte heller jämförbara med de som erhållits här. I övrigt har känslighetsanalyser mest genomförts med avseende olika varianter av beställningspunktssystem, exempelvis Humphrey et al (1998), med avseende på orderkvantiteter, exempelvis Mykytka och Ramberg (1984) och med avseende på olika efterfrågefördelningar, exempelvis Naddor (1978) och Lau och Zaki (1982).

Att studera problemet är också motiverat av att företag ofta sätter parametervärden på tämligen intuitiva grunder och med bristfälligt dataunderlag. De uppdateras också förhållandevis sällan. Exempelvis uppdaterar storleksordningen 70 % av svenska tillverkande företag ledtiden en gång per år eller mer sällan (Jonsson och Mattsson, 2000, sid 60). Syftet med den studie som avrapporteras här har varit att analysera vilka effekterna blir på erhållna servicenivåer och storlek på säkerhetslager när använda parametervärden i olika grad avviker från sina verkliga värden. Studien inkluderar inte ledtidsvariationer. Den behandlar inte heller kombinationen prognosavvikelser och ledtidsavvikelser.

## 2 Teoretiska utgångspunkter

Med ett prognosfel menas här skillnaden mellan prognostiserad efterfrågan och verklig efterfrågan under en period, exempelvis en månad. Ett negativt prognosfel innebär sålunda att den prognostiserade efterfrågan är mindre än den verkliga efterfrågan. Beträktat över ett antal perioder kan man skilja mellan systematiska prognosfel och prognosfelsvariationer. Systematiska prognosfel avser fel där den prognostiserade efterfrågan i medeltal är större eller mindre än den verkliga och kallas här prognosavvikelser. Prognosavvikelsen kan anges i form av ett absolut mått beräknad som det ackumulerade prognosfelet över ett antal perioder eller i form av ett relativt mått som det ackumulerade prognosfelet i procent av medelprognosen. Det är det relativa måttet som används här och innebär att ett negativt procenttal avser fall där den prognostiserade efterfrågan i genomsnitt är mindre än den verkliga.

Prognosfelsvariationer är uttryck för hur mycket prognosen i medeltal avviker från den verkliga efterfrågan oavsett om prognosen är större eller mindre än den verkliga efterfrågan. De mäts genom att beräkna dess standardavvikelser antingen direkt eller approximativt genom att först beräkna medelvärdet av de absoluta medelfelen under ett antal perioder, MAD, och sedan multiplicera detta värde med 1,25. Det approximativa beräkningssättet ger helt korrekta värden om prognosfelen är normalfördelade. Om prognosen är medelvärdesriktig, dvs prognosavvikelsen är noll, är prognosfelsvariationerna lika med de verkliga efterfrågevariationerna. Känslighetsanalysen i den här studien avser både prognosavvikelser, dvs hur mycket systematiskt för höga och för låga prognoser påverkar servicenivå och säkerhetslager, och prognosfelsvariationer, dvs hur mycket felaktigt beräknade prognosfelsvariationer påverkar servicenivå och säkerhetslager.

Det kan finnas olika anledningar till att prognosavvikelser uppstår. Det kan bero på att använda prognosmetoder inte i tillräcklig utsträckning tar hänsyn till systematiska efterfrågevariationer av typ trend eller säsong. Det kan också bero på att prognostisering inte sker tillräckligt frekvent. Påverkan på servicenivå och säkerhetslager uppstår också om beställningspunkter uppdateras alltför sällan även om nya prognoser tas fram tillräckligt ofta.

Med ledtid menas här kalendertiden från det att ett behov av att fylla på lager uppstår till det att levererat material blivit tillgängligt för användning. Det består av följande fyra delar:

1. Tid från det att behov uppstår tills att det uppmärksammas av planerare/inköpare, dvs materialplaneringsintervallet.
2. Tid från uppmärksammat behov till frisläppt tillverkningsorder eller beställning till leverantör, dvs orderadministrationstid.
3. Tid från mottagen order/beställning av leverantör/egen verkstad till leverans tillgänglig på godsmottagningen, dvs leveranstid.
4. Tid från godsmottagning tills levererat material är tillgängligt för användning eller kan läggas in i lager, dvs godsmottagningstid.

Känslighetsanalysen i den här studien avser ledtidsavvikelser, dvs hur mycket felaktigt uppskattade ledtider påverkar servicenivå och säkerhetslager. En ledtidsavvikelse avser

skillnaden mellan planerad och verklig ledtid. En negativ leddidsavvikelse avser följaktligen fallet att den planerade ledtiden är kortare än den verkliga ledtiden. Felaktiga ledtider kan bero på att de uppskattats alltför godtyckligt utan kontakt med leverantör eller att de inte uppdateras tillräckligt ofta. Felaktigheter kan också bero på att uppskattningarna endast inkluderat leveranstidsdelen. Påverkan på servicenivå och säkerhetslager uppstår också om beställningspunkter uppdateras alltför sällan även om ledtider bestäms med tillräcklig noggrannhet och frekvens.

Som framgick ovan mäts prognosfelsvariationer direkt genom att beräkna dess standardavvikelser eller indirekt och approximativt genom att först beräkna de absoluta medelprognosfelen och därefter multiplicera de beräknade värdena med 1,25. Felaktigheter i denna standardavvikelseberäkning påverkar både säkerhetslagrets storlek och erhållen servicenivå. Känslighetsanalysen i den här studien avser dels i vilken utsträckning procentuella avvikelser från korrekt beräknade standardavvikelser påverkar säkerhetslager och servicenivå samt i vilken utsträckning säkerhetslager och erhållna servicenivåer påverkas av den approximativa beräkningsmetoden. Felaktiga standardavvikelser kan uppkomma därför att för få värden ingår i beräkningarna (se Mattsson, 2007) eller därför att prognoserna inte är medelvärdesriktiga, dvs det föreligger systematiska prognosavvikelser. Lågfrekvent uppdatering kan på motsvarande sätt som för prognoser och ledtider också vara en källa till låg datakvalitet. En ytterligare felkälla uppstår när man använder den approximativa metoden att beräkna standardavvikelser, speciellt vid lågfrekvent efterfrågan.

### 3 Tillvägagångssätt och simuleringsmodell

För att analysera hur mycket erhållen servicenivå och säkerhetslagrets storlek påverkas av avvikelser mellan uppskattade parametervärden och verkliga förhållanden har simulering använts. Simuleringarna har genomförts i Excel med hjälp av makron skrivna i Visual Basic. För att också kunna ta hänsyn till hur känsligheten för avvikelser påverkas av olika efterfrågeförhållanden har analyserna genomförts för sex olika efterfrågefall. Vardera av dessa efterfrågefall har omfattat tjugo olika artiklar för att undvika risk för ett för stort slumpmässigt inflytande. Antal kundorder per dag, kvantitet per kundorder, efterfrågan per månad samt variationskoefficient under en ledtid på tio dagar för dessa efterfrågefall framgår av tabell 1.

Tabell 1 Karaktäristik av använda efterfrågefall

<i>Efterfrågestruktur</i>	<i>Antal kundorder/dag</i>	<i>Kvantitet / Kundorder</i>	<i>Efterfrågan Per månad</i>	<i>Ekonomiska orderkvant.</i>	<i>Variationskoefficient</i>
1	10 per dag	1 ó 10	1.100	500	0,11
2	3 per dag	1 ó 10	330	200	0,21
3	1 per 2 dagar	1 ó 10	55	50	0,51
4	1 per 2 v:or	1 ó 10	11	20	1,13
5	1 per 2 dagar	1 ó 3	20	20	0,49
6	1 per 2 mån.	1 ó 3	1	10	2,22

För att också kunna studera hur olika leveransförhållanden påverkar känsligheten för parameteravvikelser har simuleringar genomförts för fem olika ledtider och fem olika stora inleveranskvantiteter. Dessa orderkvantiteter motsvarar de ekonomiska orderkvan-

titeterna enligt tabell 1 samt orderkvantiteter som är 40 procent mindre, 20 procent mindre, 20 procent högre samt 40 procent högre än de ekonomiska orderkvantiteterna. Dessutom har förhållandena studerats för fyra olika önskade servicenivåer definierade som fyllnadsgrad, Serv2. Ledtiderna antas vara konstanta.

För varje efterfrågefall och artikel har efterfrågan under sex tusen dagar genererats med utgångspunkt från de i tabellen visade kundorderfrekvenserna och orderkvantiteterna. Enligt Bagchi et al. (1984) är det lämpligt att modellera efterfrågan som en compound Poisson fördelning. Poisson fördelning har därför använts för att slumpmässigt generera antal kundorder per dag och rektangelfördelning för att bestämma kvantitet per kundorder. Det antas att det går tjugo arbetsdagar per månad och därmed 240 per år.

Vid simuleringarna genomförs för varje dag under sextusen dagar uttag, kontroll av beställningspunkter, utläggning av nya lagerpåfyllnadsorder, inleveranser samt uppdateringar av saldo och disponibelt saldo för varje efterfrågestruktur, artikel samt alternativa orderkvantiteter, ledtider och olika önskade servicenivåer. Uppkomna brister restnoteras för senare leverans. Ett beställningspunktssystem av (s,Q)-typ använts. Resultaten skulle ha blivit desamma om man i stället använt sig av täcktidsplanering eller materialbehovsplanering med motsvarande parameteruppsättningar. Efterfrågan har antagits vara normalfördelad och vid beräkning av beställningspunkter har hänsyn tagits till överdrag av beställningspunktsnivån. Standardavvikelser för dimensionering av säkerhetslager har beräknats per dag och därefter transformerats till standardavvikelser under ledtid. Vid beräkning av beställningspunkter har avrundning till närmst högre heltal tillämpats. Detta leder till att resultaten i vissa fall uppvisar en del irregulariteter för de efterfrågestrukturer som karakteriseras av låg efterfrågan eftersom efterfrågan under ledtid i sådana fall blir mycket låg.

För att öka validiteten i simuleringarna genererades den dagliga efterfrågan för varje efterfrågestruktur och artikel i förväg och sparades i ett Excel-ark i stället för att genereras under simuleringens gång. Simuleringar för att jämföra kapitalbindning i säkerhetslager och erhållna servicenivåer kunde därigenom genomföras med exakt samma utgångsdata.

## 4 Resultat och analys

Resultaten från de genomförda simuleringarna med avseende på hur mycket säkerhetslager och erhållna servicenivåer påverkas av felaktiga prognoser respektive felaktiga ledtider redovisas nedan. Förändringarna uttrycks i procent för säkerhetslager och i procentenheter för servicenivå. Säkerhetslagret beräknas som den kvantitet som i medeltal finns i lager vid inleverans och erhållen servicenivå som orderradsservice, dvs som andel av alla orderrader som kunnat levereras direkt från lager.

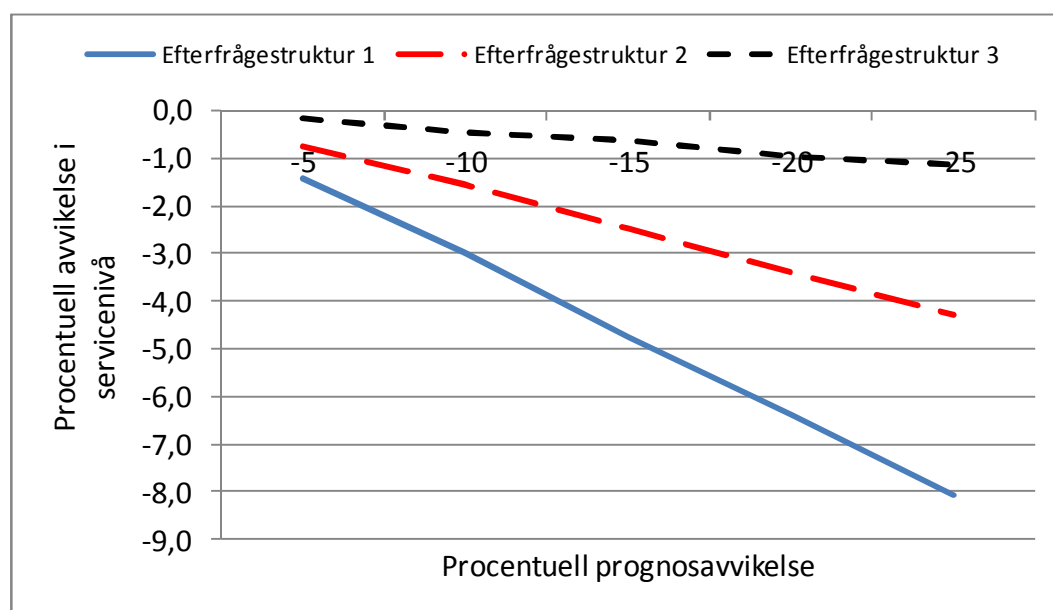
### 4.1 Känslighet för prognosavvikelser

Med avseende på känslighet för prognosavvikelser visas erhållna resultat för de olika efterfrågestrukturerna i tabellerna 2 - 9. För fallet med en ledtid på 5 dagar, ekonomisk orderkvantitet och en önskad servicenivå på 97 procent visas påverkan på servicenivå och säkerhetslager av varierande grader av prognosavvikelse i tabell 2 respektive 3.

Tabell 2 Förändring av erhållna servicenivåer vid olika procentuella prognosavvikelser, ekonomisk orderkvantitet, en ledtid på 5 dagar och en önskad servicenivå på 97 procent

Efterfrågestruktur	Prognosavvikelser				
	- 5 %	- 10 %	- 15 %	-20 %	- 25 %
1	- 1,4 %	- 3,0 %	- 4,7 %	- 6,4 %	- 8,1 %
2	- 0,8 %	-1,6 %	- 2,5 %	- 3,4 %	- 4,3 %
3	- 0,2 %	- 0,5 %	- 0,6 %	- 0,9 %	- 1,1 %
4	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,2 %
5	- 0,4 %	- 0,4 %	- 0,4 %	- 0,7 %	- 1,2 %
6	0,5 %	1,2 %	1,4 %	1,5 %	1,5 %

Som framgår av tabell 2 avviker de erhållna servicenivåerna från den önskade och den som säkerhetslagret dimensionerats för vid negativa systematiska prognosavvikelser för de efterfrågestrukturer som har hög och jämn efterfrågan. Om exempelvis den prognostiserade efterfrågan som beställningspunkten baseras på är 20 procent lägre än den verkliga kommer man att få en servicenivå på under 91 procent trots att säkerhetslagret dimensionerats för 97 procent. Avvikelseerna blir större ju större prognosavvikelsen är och ju högre och jämnare efterfrågan är. För efterfrågestrukturer med låg och mycket slumpmässigt varierande efterfrågan är avvikelseerna däremot mer eller mindre försumbara.



Figur 1 Illustration av procentuella avvikelser i servicenivåer vid olika procentuella prognosavvikelser för efterfrågestrukturerna 1, 2 och 3.

Tabell 3 Förändring av säkerhetslager vid olika procentuella prognosavvikelser, ekonomisk orderkvantitet, en ledtid på 5 dagar och en önskad servicenivå på 97 procent

<i>Efterfrågestruktur</i>	<i>Prognosavvikelser</i>				
	+ 5 %	+ 10 %	+ 15 %	+ 20 %	+ 25 %
1	42,2 %	93,6 %	155,1 %	226,7 %	304,4 %
2	18,2 %	39,1 %	64,7 %	91,7 %	121,8 %
3	7,4 %	13,9 %	19,1 %	26,8 %	33,6 %
4	0,0 %	1,1 %	1,1 %	1,1 %	2,2 %
5	9,4 %	16,1 %	17,3 %	22,7 %	36,3 %
6	- 6,5 %	- 13,8 %	- 17,9 %	- 17,9 %	- 17,9 %

För säkerhetslagrets storlek blir, som framgår av tabell 3, effekten den motsatta. För efterfrågestrukturer med hög och jämn efterfrågan blir säkerhetslagret påtagligt större än vad det skulle blivit om prognosen varit korrekt medan den blir liten eller till och med försumbar för efterfrågestrukturer med låg och mycket slumpmässigt varierande efterfrågan. Att säkerhetslagret ökar beror på att inleveranser i stor utsträckning sker innan lagret nått säkerhetslagernivån eftersom beställningspunkten blir för hög vid positiva prognosavvikelser. Att dessutom säkerhetslagret ökar mer för högomsatta efterfrågestrukturer med jämn omsättning än de för lågomsatt efterfrågeförbrukning med mycket variationer är förväntat och beror på att säkerhetslagret relativt efterfrågan under ledtid är mindre ju högre och jämnare efterfrågan är.

För att också studera hur mycket ledtiden, använd orderkvantitet och önskad servicenivå betyder för prognosavvikelsers påverkan på erhållen servicenivå och säkerhetslager har ytterligare simuleringar genomförts. Resultaten från dessa redovisas i tabellerna 4 - 9. I samtliga fall har prognosavvikelsen satts till plus alternativt minus tio procent och önskad servicenivå till 97 procent. Tabell 4 och 5 visar de resultat som erhållits med avseende på olika långa ledtider. Som framgår av tabellerna påverkas både servicenivån och säkerhetslagret mer ju längre ledtiderna är, dvs avvikelserna från önskad servicenivå ökar och skillnaderna mellan erhållet säkerhetslager och det säkerhetslager som erhålls om prognosen är korrekt ökar med ökande ledtider. Detta är förväntat eftersom den efterfråga under ledtid som ingår i beställningspunkten kommer att bli kvantiteten prognosavvikelse i styck per period \* ledtiden för stor. Påverkan från ökande ledtider är dock försumbar för efterfrågefall med låg och mycket varierande efterfrågan.

Tabell 4 Förändring av erhållna servicenivåer vid olika ledtider, en procentuell prognosavvikelse på - 10 procent, ekonomisk orderkvantitet och en önskad servicenivå på 97 procent

<i>Efterfrågestruktur</i>	<i>Ledtider</i>				
	<i>5 dagar</i>	<i>10 dagar</i>	<i>15 dagar</i>	<i>20 dagar</i>	<i>25 dagar</i>
1	- 3,0 %	- 5,6 %	- 8,2 %	- 10,9 %	- 13,6 %
2	- 1,6 %	- 2,9 %	- 3,9 %	- 5,3 %	- 6,5 %
3	- 0,5 %	- 1,0 %	- 1,4 %	- 1,8 %	- 2,1 %
4	0,0 %	0,0 %	- 0,3 %	- 0,6 %	- 0,8 %
5	- 0,4 %	- 0,9 %	- 1,3 %	- 1,8 %	- 2,2 %
6	1,2 %	0,0 %	0,3 %	0,0 %	0,0 %

Tabell 5 Förändring av säkerhetslager vid olika ledtider, en procentuell prognosavvikelse på + 10 procent, ekonomisk orderkvantitet och en önskad servicenivå på 97 procent

<i>Efterfrågestruktur</i>	<i>Ledtider</i>				
	<i>5 dagar</i>	<i>10 dagar</i>	<i>15 dagar</i>	<i>20 dagar</i>	<i>25 dagar</i>
1	93,6 %	121,1 %	138,7 %	153,5 %	165,8 %
2	39,1 %	53,4 %	62,0 %	69,9 %	75,3 %
3	13,9 %	15,3 %	18,9 %	21,3 %	24,2 %
4	1,1 %	4,5 %	6,4 %	7,0 %	8,7 %
5	16,1 %	17,4 %	20,1 %	24,1 %	25,2 %
6	- 13,8 %	0,0 %	- 2,3 %	0,0 %	0,0 %

Motsvarande resultat med avseende på olika stora orderkvantiteter visas i tabell 6 och 7. I det här fallet påverkas servicenivån mindre och säkerhetslagret mer ju större orderkvantiteterna är, dvs avvikelserna från önskad servicenivå minskar och skillnaderna mellan erhållet säkerhetslager och det säkerhetslager som erhålls om prognosen är korrekt ökar med ökande orderkvantiteter. Detta kan bland annat förklaras av att större orderkvantiteter medför färre inleveranstillfällen och därmed färre bristtillfällen. Avvikelser och skillnader som funktion av orderkvantitet är tämligen försumbara för efterfrågestrukturer med låg och varierande efterfrågan.

Tabell 6 Förändring av erhållna servicenivåer vid olika orderkvantiteter, en procentuell prognosavvikelse på -10 procent, en ledtid på 10 dagar och en önskad servicenivå på 97 procent

<i>Efterfrågestruktur</i>	<i>Orderkvantiteter</i>				
	<i>EOK-40 %</i>	<i>EOK-20 %</i>	<i>EOK</i>	<i>EOK+20 %</i>	<i>EOK+40 %</i>
1	- 7,0 %	- 6,2 %	- 5,6 %	- 5,0 %	- 4,6 %
2	- 3,4 %	- 3,0 %	- 2,9 %	- 2,7 %	- 2,6 %
3	- 1,0 %	- 1,0 %	- 1,0 %	- 1,0 %	- 0,9 %
4	0,0 %	- 0,2 %	0,0 %	0,0 %	- 0,2 %
5	- 1,0 %	- 1,1 %	- 0,9 %	- 0,9 %	- 0,9 %
6	0,2 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

Tabell 7 Förändring av säkerhetslager vid olika orderkvantiteter, en procentuell prognosavvikelse på + 10 procent, en ledtid på 10 dagar och en önskad servicenivå på 97 procent

<i>Efterfrågestruktur</i>	<i>Orderkvantiteter</i>				
	<i>EOK-40 %</i>	<i>EOK-20 %</i>	<i>EOK</i>	<i>EOK+20 %</i>	<i>EOK+40 %</i>
1	98,2 %	109,4 %	121,1 %	133,8 %	147,6 %
2	46,2 %	50,1 %	53,4 %	58,7 %	63,0 %
3	14,2 %	16,6 %	15,3 %	17,5 %	18,3 %
4	4,5 %	7,6 %	4,5 %	7,1 %	4,7 %
5	14,1 %	16,1 %	17,4 %	17,4 %	18,7 %
6	- 4,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	-9,7 %



För fallet med olika höga servicenivåer visas resultaten i tabell 8 och 9. Av tabellerna framgår att både den erhållna servicenivån och säkerhetslagret påverkas mindre ju högre den önskade servicenivån är, dvs avvikelserna från önskad servicenivå minskar och skillnaderna mellan erhållet säkerhetslager och det säkerhetslager som erhålls om prognosen är korrekt minskar med stigande önskade servicenivåer. Skillnaderna är försumbara för efterfrågestrukturer med låg och varierande efterfrågan.

Tabell 8 Förändring av erhållna servicenivåer vid olika servicenivåer, en procentuell prognosavvikelse på - 10 procent, ekonomisk orderkvantitet och en ledtid på 10 dagar

Efterfrågestruktur	Servicenivåer			
	93 %	95 %	97 %	99 %
1	- 8,2 %	- 7,1 %	- 5,6 %	- 2,9 %
2	- 4,7 %	- 3,8 %	- 2,9 %	- 1,4 %
3	- 1,7 %	- 1,4 %	- 1,0 %	- 0,5 %
4	- 0,3 %	0,0 %	0,0 %	- 0,1 %
5	- 1,6 %	- 1,3 %	- 0,9 %	- 0,3 %
6	0,0 %	0,7 %	0,0 %	0,1 %

Tabell 9 Förändring av säkerhetslager vid olika servicenivåer, en procentuell prognosavvikelse på + 10 %, ekonomisk orderkvantitet och en ledtid på 10 dagar

Efterfrågestruktur	Servicenivåer			
	93 %	95 %	97 %	-20 %
1	192,5 %	157,3 %	121,1 %	80,9 %
2	80,4 %	66,5 %	53,4 %	40,1 %
3	19,4 %	19,1 %	15,3 %	12,2 %
4	1,0 %	2,6 %	4,5 %	2,7 %
5	23,7 %	22,0 %	17,4 %	12,5 %
6	0,0 %	- 19,7 %	0,0 %	- 3,6 %

## 4.2 Känslighet för ledtidsavvikelser

Motsvarande resultat med avseende på känslighet för ledtidsavvikelser för de olika efterfrågestrukturerna visas i tabellerna 10 - 16. För fallet med en planerad ledtid på 10 och 20 dagar, inget prognosfel, ekonomisk orderkvantitet och en önskad servicenivå på 97 procent visas påverkan på servicenivå och säkerhetslager vid varierande grader av avvikelser från verklig ledtid i tabell 10, 11 och 12.

Tabell 10 Förändring av erhållna servicenivåer vid olika ledtidsavvikelser, ekonomisk orderkvantitet, en ledtid på 10 dagar och en önskad servicenivå på 97 procent

Efterfrågestruktur	Ledtidsavvikelser			
	- 1 dag	- 2 dagar	- 3 dagar	- 4 dagar
1	- 5,8 %	- 14,7 %	- 25 %	- 35,8 %
2	- 3,2 %	- 7,8 %	- 13,8 %	- 20,6 %
3	- 1,5 %	- 3,4 %	- 5,6 %	- 8,2 %
4	- 0,6 %	- 1,6 %	- 2,6 %	- 3,6 %
5	- 1,4 %	- 3,0 %	- 5,1 %	- 7,5 %
6	- 0,1 %	- 0,3 %	- 0,6 %	- 0,7 %

Som framgår av tabell 10 avviker de erhållna servicenivåerna från den önskade och den som säkerhetslagret dimensionerats för vid negativa ledtidsavvikelser för de efterfrågestrukturer som har hög och jämn efterfrågan i motsvarande grad som för prognosavvikelser. Avvikelseerna blir större ju större ledtidsavvikelsen är och ju högre och jämnare efterfrågan är. För efterfrågestrukturer med låg och mycket varierande efterfrågan är avvikelseerna däremot mer eller mindre försumbara. Eftersom en dags negativ ledtidsavvikelse är det samma som 10 procents prognosavvikelse med avseende på efterfrågan under ledtid skulle man kunnat förvänta sig att förändringen av erhållen servicenivå blir densamma. Jämför man tabell 4-andra kolumnen med tabell 10- första kolumnen, ser man att så inte är fallet. Tio procent för kort ledtid medför större avvikelser i erhållen servicenivå än tio procent för låg prognos. Detta förklaras av att ledtidsavvikelser också påverkar säkerhetslagrets storlek.

Tabell 11 Förändring av säkerhetslager vid olika ledtidsavvikelser, ekonomisk orderkvantitet, en ledtid på 10 dagar och en önskad servicenivå på 97 procent

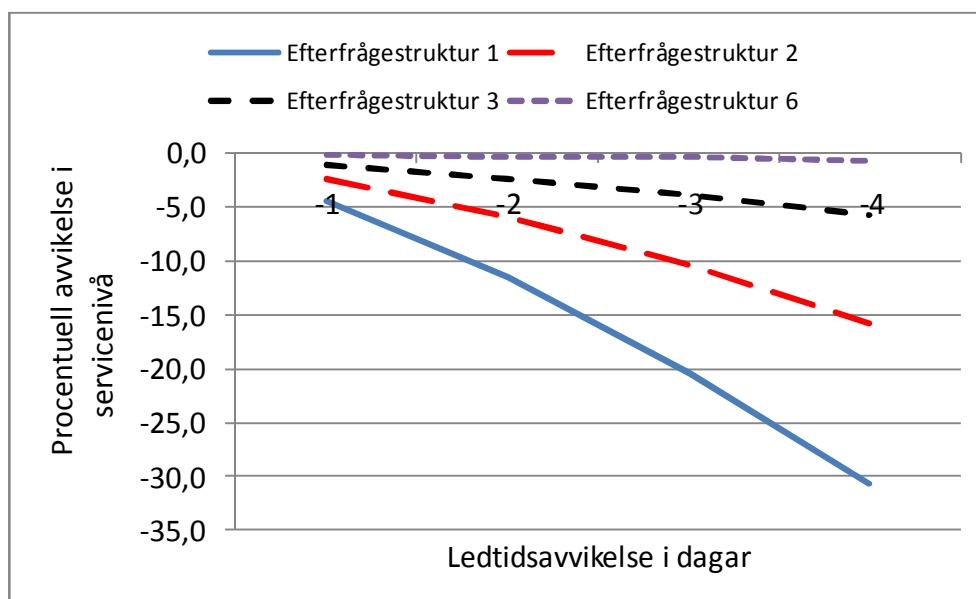
<i>Efterfrågestruktur</i>	<i>Ledtidsavvikelser</i>			
	<i>+ 1 dag</i>	<i>+ 2 dagar</i>	<i>+ 3 dagar</i>	<i>+ 4 dagar</i>
1	107,6	239,3	378,6	518,1
2	48,8	106,6	168,8	232,2
3	15,4	32,2	50,3	69,7
4	6,6	13,1	19,8	26,7
5	16,0	33,2	51,3	71,1
6	0,9	4,2	5,9	7,9

På motsvarande sätt som för prognosavvikelser blir effekterna för säkerhetslagrets storlek det motsatta i förhållande till effekterna för erhållen servicenivå. Se tabell 11. För efterfrågestrukturer med hög och jämn efterfrågan blir säkerhetslagret påtagligt större än vad det skulle blivit om ledtiden varit korrekt medan det blir mindre eller till och med försumbart för efterfrågestrukturer med låg och mycket varierande efterfrågan. Att säkerhetslagret ökar beror även i det här fallet på att inleveranser i stor utsträckning sker innan lagret nått säkerhetslagernivån eftersom beställningspunkten blir för hög vid positiva ledtidsavvikelser. Att dessutom säkerhetslagret ökar mer för högomsatta efterfrågestrukturer med jämn omsättning än de för lågomsatta efterfrågestrukturer med mycket variationer är förväntat och beror på att förhållandet mellan säkerhetslagrets storlek och förbrukningen under ledtid är mindre ju högre och jämnare efterfrågan är.

Tabell 12 Förändring av erhållna servicenivåer vid olika ledtidsavvikelser, ekonomisk orderkvantitet, en ledtid på 20 dagar och en önskad servicenivå på 97 procent

<i>Efterfrågestruktur</i>	<i>Ledtidsavvikelser</i>			
	<i>- 1 dag</i>	<i>- 2 dagar</i>	<i>- 3 dagar</i>	<i>- 4 dagar</i>
1	- 4,5 %	- 11,4 %	- 20,5 %	- 30,7 %
2	- 2,4 %	- 5,8 %	- 10,4 %	- 15,9 %
3	- 1,0 %	- 2,3 %	- 3,9 %	- 5,7 %
4	- 0,6 %	- 1,3 %	- 2,0 %	- 2,8 %
5	- 1,0 %	- 2,2 %	- 3,7 %	- 5,5 %
6	- 0,1 %	- 0,3 %	- 0,4 %	- 0,7 %

Om man jämför tabell 10 och 12 ser man att vid lika antal dagars ledtidsavvikelse blir avvikelserna i erhållna servicenivåer något men endast måttligt mindre när ledtiderna är längre. Vid samma procentuella skillnad i ledtidsavvikelse blir skillnaderna i stället betydligt större när ledtiden är längre.



Figur 2 Illustration av procentuella avvikelser i servicenivåer vid olika ledtidsavvikelser för efterfrågestrukturerna 1, 2, 3 och 6 vid en ledtid på 20 dagar.

För att också studera hur mycket använd orderkvantitet och önskad servicenivå betyder för ledtidsavvikelsers påverkan på erhållen servicenivå och säkerhetslager har ytterligare simuleringar genomförts. Resultaten från dessa redovisas i tabellerna 13 - 16. I samtliga fall har ledtidsavvikelsen satts till plus alternativt minus två dagar, önskad servicenivå till 97 procent och prognosavvikelsen till noll. Tabell 13 och 14 visar de resultat som erhållits med avseende på olika stora orderkvantiteter. Som framgår av tabellerna påverkas servicenivån mindre och säkerhetslagret mer ju större orderkvantiteterna är, dvs avvikelserna från önskad servicenivå minskar och skillnaderna mellan erhållit säkerhetslager och det säkerhetslager som erhålls om ledtiden är korrekt ökar med ökande orderkvantiteter.

Tabell 13 Förändring av erhållna servicenivåer vid olika orderkvantiteter, en ledtidsavvikelse på - 2 dagar, en ledtid på 10 dagar och en önskad servicenivå på 97 procent

Efterfrågestruktur	Orderkvantiteter				
	EOK-40 %	EOK-20 %	EOK	EOK+20 %	EOK+40 %
1	- 20,7 %	- 17,0 %	- 14,7 %	- 12,9 %	- 11,6 %
2	- 10,2 %	- 8,8 %	- 7,8 %	- 7,1 %	- 6,6 %
3	- 4,1 %	- 3,7 %	- 3,4 %	- 3,0 %	- 2,7 %
4	- 2,2 %	- 2,0 %	- 1,6 %	- 1,6 %	- 1,4 %
5	- 3,7 %	- 3,3 %	- 3,0 %	- 2,7 %	- 2,5 %
6	- 0,8 %	- 0,5 %	- 0,3 %	- 0,5 %	- 0,2 %

Tabell 14 Förändring av säkerhetslager vid olika orderkvantiteter, en ledtidsavvikelse på + 2 dagar, en ledtid på 10 dagar och en önskad servicenivå på 97 procent

Efterfråge- Struktur	Orderkvantiteter				
	EOK-40 %	EOK-20 %	EOK	EOK+20 %	EOK+40 %
1	187,3 %	213,7 %	239,3 %	269,3 %	299,8 %
2	87,7 %	97,8 %	106,6 %	115,4 %	125,6 %
3	28,4 %	31,9 %	32,2 %	34,3 %	35,6 %
4	10,8 %	11,1 %	13,1 %	13,4 %	13,0 %
5	29,5 %	31,3 %	33,2 %	34,5 %	37,6 %
6	4,7 %	3,5 %	4,2 %	4,7 %	4,1 %

Med avseende på motsvarande förhållanden vid olika höga servicenivåer visas resultaten i tabell 15 och 16. Av tabellerna framgår att både den erhållna servicenivån och säkerhetslagret påverkas mindre ju högre den önskade servicenivån är, dvs avvikelserna från önskad servicenivå minskar och skillnaderna mellan erhållit säkerhetslager och det säkerhetslager som erhålls om ledtiden är korrekt minskar med stigande önskade servicenivåer. Skillnaderna för efterfrågestrukturer med låg och varierande efterfrågan är inte lika försumbara som för fallet med prognosavvikelser.

Tabell 15 Förändring av erhållna servicenivåer vid olika servicenivåer, en ledtidsavvikelse på - 2 dagar, ekonomisk orderkvantitet och en ledtid på 10 dagar

Efterfråge- Struktur	Servicenivåer			
	93 %	95 %	97 %	99 %
1	- 18,5 %	- 17,0 %	- 14,7 %	- 10,0 %
2	- 11,4 %	- 9,9 %	- 7,8 %	- 4,6 %
3	- 5,2 %	- 4,5 %	- 3,4 %	- 1,6 %
4	- 2,5 %	- 2,1 %	- 1,6 %	- 0,9 %
5	- 4,9 %	- 4,0 %	- 3,0 %	- 1,6 %
6	- 0,6 %	- 0,4 %	- 0,3 %	- 0,2 %

Tabell 16 Förändring av säkerhetslager vid olika servicenivåer, en ledtidsavvikelse på + 2 dagar, ekonomisk orderkvantitet och en ledtid på 10 dagar

Efterfråge- Struktur	Servicenivåer			
	93 %	95 %	97 %	99 %
1	429,0 %	330,5 %	239,3 %	148,8 %
2	164,8 %	134,9 %	106,6 %	73,7 %
3	41,7 %	38,5 %	32,2 %	25,1 %
4	16,5 %	14,7 %	13,1 %	9,5 %
5	44,8 %	40,6 %	33,2 %	25,5 %
6	6,3 %	5,2 %	4,2 %	4,2 %

#### 4.3 Känslighet för avvikelser i beräknade standardavvikelser

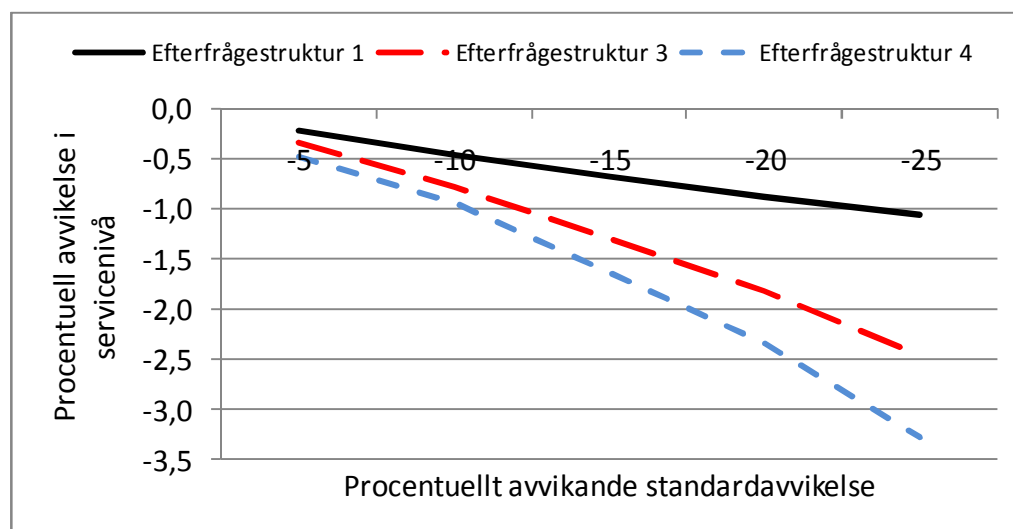
De resultat som erhållits med avseende på känslighet för avvikelser i beräknade standardavvikelser visas i tabellerna 17 - 20. För fallet med inget prognosfel, en ledtid på 5 dagar, ekonomisk orderkvantitet och en önskad servicenivå på 97 procent visas påver-

kan på servicenivå och säkerhetslager vid varierande grader av avvikelser från verkliga standardavvikelser i tabell 17 respektive 18..

Tabell 17 Förändring av erhållna servicenivåer vid olika procentuella avvikelser i beräknade standardavvikelser, ekonomisk orderkvantitet, en ledtid på 5 dagar och en önskad servicenivå på 97 procent

Efterfrågestruktur	Avvikelser i beräknade standardavvikelse				
	- 5 %	- 10 %	- 15 %	-20 %	- 25 %
1	- 0,2 %	- 0,5 %	- 0,7 %	- 0,9 %	- 1,1 %
2	- 0,3 %	-0,5 %	- 0,9 %	- 1,1 %	- 1,4 %
3	- 0,3 %	- 0,8 %	- 1,3 %	- 1,8 %	- 2,5 %
4	- 0,5%	- 0,9 %	- 1,6 %	- 2,3 %	- 3,3 %
5	- 0,4 %	- 0,5 %	- 1,4 %	- 1,9 %	- 1,9 %
6	- 0,3 %	- 0,3 %	- 0,3 %	- 0,3 %	- 0,3 %

Av tabell 2 framgår att vid negativa prognosavvikelser avviker de erhållna servicenivåerna från den önskade och den från vilken säkerhetslagret dimensionerats mest för de efterfrågestrukturer som har hög och jämn efterfrågan. Som framgår av tabell 17 är förhållandena de motsatta vid avvikelser i beräknade standardavvikelser, dvs avvikelserna blir större när efterfrågan är låg och ojämn. Totalt sett är emellertid avvikelserna klart mindre än motsvarande för prognosavvikelser. Skillnaderna mellan hög och jämn efterfrågan i förhållande till låg och ojämn förklaras av att säkerhetslagret representerar en mycket mindre andel av beställningspunktskvantiteten för efterfrågestrukturer med hög och jämn efterfrågan jämfört med motsvarande för låg och ojämn efterfrågan.



Figur 3 Illustration av procentuella avvikelser i servicenivåer vid olika procentuella avvikelser i beräknade standardavvikelser för efterfrågestrukturerna 1, 3 och 4.

Tabell 18 Förändring av säkerhetslager vid olika procentuella avvikelser i beräknade standardavvikelser, ekonomisk orderkvantitet, en ledtid på 5 dagar och en önskad servicenivå på 97 procent

<i>Efterfrågestruktur</i>	<i>Avvikelser i beräknade standardavvikelser</i>				
	+ 5 %	+ 10 %	+ 15 %	+ 20 %	+ 25 %
1	6,5 %	12,6 %	19,7 %	26,8 %	35,9 %
2	6,7 %	13,6 %	20,5 %	29,1 %	38,0 %
3	9,6 %	18,7 %	29,5 %	39,8 %	49,8 %
4	9,5 %	20,5 %	30,9 %	48,5 %	63,7 %
5	13,7 %	17,3 %	26,7 %	40,9 %	45,2 %
6	88,5 %	101,2 %	101,2 %	101,2 %	108,2 %

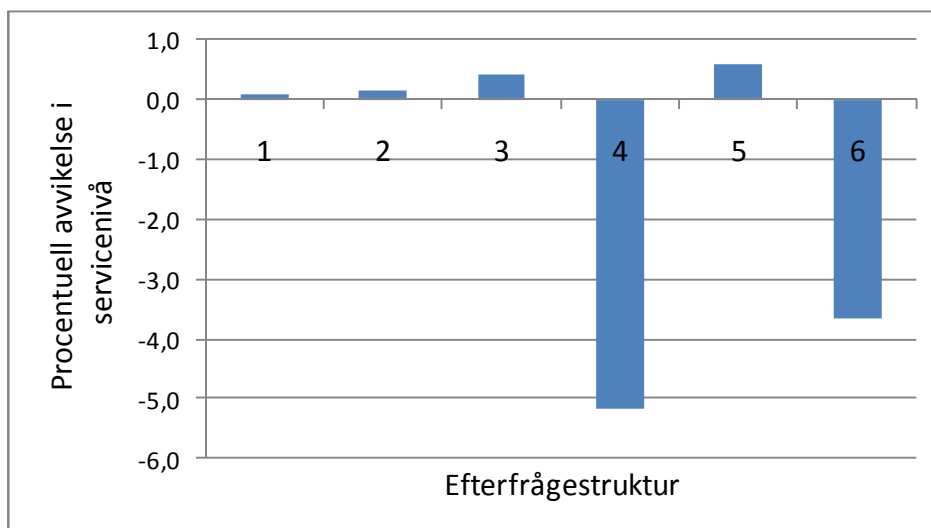
För säkerhetslagrets storlek blir, som framgår av tabell 18, effekten den motsatta. Säkerhetslagret blir större än vad det skulle blivit om standardavvikelsen varit korrekt beräknad. Även för säkerhetslagerstorlek blir effekterna större för efterfrågestrukturer som karakteriseras av låg och ojämn efterfrågan.

Avvikelser i beräknade standardavvikelser kan också uppstå när man gör beräkningarna via MAD. Resultaten från simuleringarna i detta avseende visas i tabell 19 för olika ledtider, med ekonomisk orderkvantitet och med en servicenivå på 97 procent. Prognosavvikelsen antas vara noll.

Tabell 19 Förändring av erhållna servicenivåer vid användning av MAD vid olika ledtider, ekonomisk orderkvantitet och en önskad servicenivå på 97 procent

<i>Efterfrågestruktur</i>	<i>Ledtider</i>				
	<i>5 dagar</i>	<i>10 dagar</i>	<i>15 dagar</i>	<i>20 dagar</i>	<i>25 dagar</i>
1	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
2	0,1 %	0,1 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
3	0,4 %	0,5 %	0,4 %	0,5 %	0,5 %
4	- 4,6 %	- 4,8 %	- 5,2 %	- 5,8 %	- 6,2 %
5	0,3 %	0,2 %	0,3 %	0,2 %	0,2 %
6	- 0,3 %	- 2,6 %	- 3,7 %	- 6,1 %	- 4,1 %

Som framgår av tabellen är förändringarna av erhållna servicenivåer helt försumbara för efterfrågestrukturer som karakteriseras av hög och jämn efterfrågan, oavsett ledtid. De är däremot avgörande stora för efterfrågestrukturer som karakteriseras av låg och ojämn efterfrågan. Att så är fallet beror på att användningen av MAD som underlag för standardavvikelseberäkning endast är teoretiskt riktig när prognosfelen är normalfördelade. Detta är långt ifrån fallet för efterfrågestrukturerna 4 och 6 som har variationskoefficienter för efterfrågan under ledtid som är större än ett.



Figur 4 Illustration av procentuella avvikelser i servicenivåer vid beräkning av standardavvikelser med hjälp av MAD för de studerade efterfrågestrukturerna.

Motsvarande resultat för olika stora orderkvantiteter och olika höga servicenivåer visas i tabell 20 respektive 21. Resultaten är de samma som för olika långa ledtider.

Tabell 20 Förändring av erhållna servicenivåer vid olika orderkvantiteter, en procentuell prognosavvikelse på -10 procent, en ledtid på 10 dagar och en önskad servicenivå på 97 procent

Efterfrågestruktur	Orderkvantiteter				
	EOK-40 %	EOK-20 %	EOK	EOK+20 %	EOK+40 %
1	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
2	0,2 %	0,2 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
3	0,5 %	0,5 %	0,5 %	0,4 %	0,3 %
4	- 6,6 %	- 6,0 %	- 4,8 %	- 4,8 %	- 4,3 %
5	0,2 %	0,3 %	0,2 %	0,1 %	0,3 %
6	- 5,8 %	- 4,5 %	- 2,6 %	- 2,9 %	- 2,6 %

Tabell 21 Förändring av erhållna servicenivåer vid olika servicenivåer, en procentuell prognosavvikelse på - 10 procent, ekonomisk orderkvantitet och en ledtid på 10 dagar

Efterfrågestruktur	Servicenivåer			
	93 %	95 %	97 %	99 %
1	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
2	0,2 %	0,2 %	0,1 %	0,1 %
3	0,6 %	0,6 %	0,5 %	0,2 %
4	- 6,1 %	- 5,1 %	-4,8 %	- 3,9 %
5	0,3 %	0,3 %	0,2 %	0,2 %
6	0,0 %	- 1,4 %	- 2,6 %	- 3,6 %

## 5 Sammanfattning och slutsatser

I den här studien har känslighet för felaktigheter i prognoser, ledtider och beräknade standardavvikelser analyserats med avseende på erhållna servicenivåer och säkerhetslager. De resultat som erhållits med hjälp av simulering kan sammanfattas enligt följande.

Erhållna servicenivåer avviker avsevärt från önskade för efterfrågefall karakteriserade av hög och jämn efterfrågan när prognostiserad efterfrågan är lägre än verklig. Avvikelsena ökar något med ökande ledtider men minskar något med ökande orderkvantiteter och högre önskade servicenivåer. Ju lägre efterfrågan är och ju mer den varierar slumpmässigt desto mindre avvikelser erhålls. I stort sett är de försumbara vid mycket låg och starkt varierande efterfrågan. För säkerhetslager är förhållandena de omvända, dvs säkerhetslagren ökar vid ökande skillnad mellan prognos och verklig efterfrågan. Skillnaden mellan erhållet säkerhetslager och säkerhetslager utan prognosavvikelser blir större ju högre och jämnare efterfrågan är. Den är endast försumbar för efterfrågestrukturer med mycket låg och ojämn efterfrågan.

På motsvarande sätt avviker erhållna servicenivåer avsevärt från önskade för efterfrågefall karakteriserade av hög och jämn efterfrågan när den planerade ledtiden är kortare än den verkliga. Avvikelsena minskar något med ökande orderkvantiteter och högre önskade servicenivåer. Ju lägre efterfrågan är och ju mer den varierar slumpmässigt desto mindre avvikelser erhålls. Avvikelsena är emellertid endast försumbara vid mycket låg och starkt varierande efterfrågan och då ledtidsfelet är begränsat till en dag. För säkerhetslager är förhållandena de omvända, dvs säkerhetslagren ökar vid ökande skillnad mellan planerad och verklig ledtid. Skillnaden mellan erhållet säkerhetslager och säkerhetslager utan ledtidsavvikelser blir större ju högre och jämnare efterfrågan är. Vid samma procentuella prognosavvikelse och ledtidsavvikelse har ledtidsavvikelsen en större påverkan på minskningen av erhållen servicenivå eftersom ledtidsavvikelsen även påverkar säkerhetslagret.

Vid negativa avvikelser i beräknade standardavvikelser reduceras erhållna servicenivåer endast måttligt för efterfrågestrukturer karakteriserade av hög och jämn efterfrågan men betydligt mer ju lägre och ojämnare efterfrågan är. Förhållandena för säkerhetslager är de motsatta när beräknade standardavvikelser är större än de verkliga. Om standardavvikelser beräknas approximativt med hjälp MAD i stället för på ett helt korrekt sätt påverkas inte erhållna servicenivåer nämnvärt vid hög och jämn efterfrågan medan de blir påtagligt lägre än önskade nivåer ju lägre efterfrågan är och ju mer den varierar.

Den övergripande slutsats man kan dra av de erhållna resultaten är ganska uppenbar. För att kunna få en servicenivå i närheten av den man önskar och för att man inte skall få onödigt stora säkerhetslager måste man säkerställa att prognoser och ledtider blir rimligt korrekt fastställda. Eftersom förhållandet gäller i större utsträckning ju högre och jämnare efterfrågan är bör insatser för att uppnå hög prognoskvalitet och rättvisande ledtider i första hand sättas in för volymvärdehöga artiklar.



## Referenser

Aggarwal, S. - Dhavale, D. ( 1973) An emperical sensitivity analysis of (s,S) inventory policies, Production and Inventory Management, 4<sup>th</sup> Qtr.

Bagchi, U. - Haya, J. - Ord, J. (1984) Concepts, theory and techniques: modeling demand during lead time, Decision Science, Vol. 15, sid 157-176.

Jonsson, P. - Mattsson, S-A. (2000) Planeringsmetoder i tillverkande företag, PLAN.

Mattsson, S-A. (2007) Standardavvikelser för säkerhetslagerberäkning, Forskningsrapport, Teknisk logistik, Lunds Universitet.

Mykytka, E. - Ramberg, J. (1984) On the sensitivity of the EOQ to errors in the forecast of demand, IIE Transactions, Vol. 16, sid 144-151.

Naddor, E. (1978) Sensitivity to distributions in inventory systems, Management Science, Vol. 24, sid 1769-1771.

Lau, H. - Zaki, A. (1982) The sensitivity in inventory decisions to the shape of lead time demand distribution, IIE Transactions, Vol. 14, sid 265-271.